

# 新白山火山，剣ヶ峰および白水滝溶岩における 岩石学的多様性

酒寄淳史・山田磨未<sup>\*1</sup>・小林 力<sup>\*2</sup>・小林宏光<sup>\*3</sup>

## Petrological Variations of Kengamine and Shiramizudaki Lavas, Shin-Hakusan Volcano

Atsushi SAKAYORI, Mami YAMADA, Tsutomu KOBAYASHI and Hiromitsu KOBAYASHI

### はじめに

一連の噴火活動において噴出物の性質の時間変化をとらえることができれば，火山直下のマグマ供給システムを理解する上での有効な情報となる．本論文では，約2000年前の噴火によって形成された白山火山の溶岩（剣ヶ峰溶岩と白水滝溶岩）について，鏡下における岩石学的性質が活動とともにどのように変化したのかを明らかにし，さらにその岩石学的多様性をもたらしたメカニズムについて検討を行う．

### 新白山火山の活動史

今回研究の対象とした剣ヶ峰および白水滝溶岩は，白山火山において最も若い溶岩流であり，

白山火山を構成する三つの成層火山体（古い方から加賀室火山，古白山火山，新白山火山）のうちの新白山火山に属する．新白山火山に関しては，火山体の地形と地質，テフラ層序，放射年代など，これまで多くの研究が行われてきた（Yamasaki *et al.*, 1964；山崎ほか，1968, 1985, 1987；守屋，1984, 1992, 2000；長岡ほか，1985；遠藤，1985；高柳・守屋，1991など）．それらの成果によって，以下のような形成史が明らかにされている．

新白山火山は現在の山頂付近を噴出中心とし，約4万年前に活動を開始した．少なくとも1万年前までには御前峰を含む火山体が山頂付近に形成され，当時の溶岩流の一部は，南方および

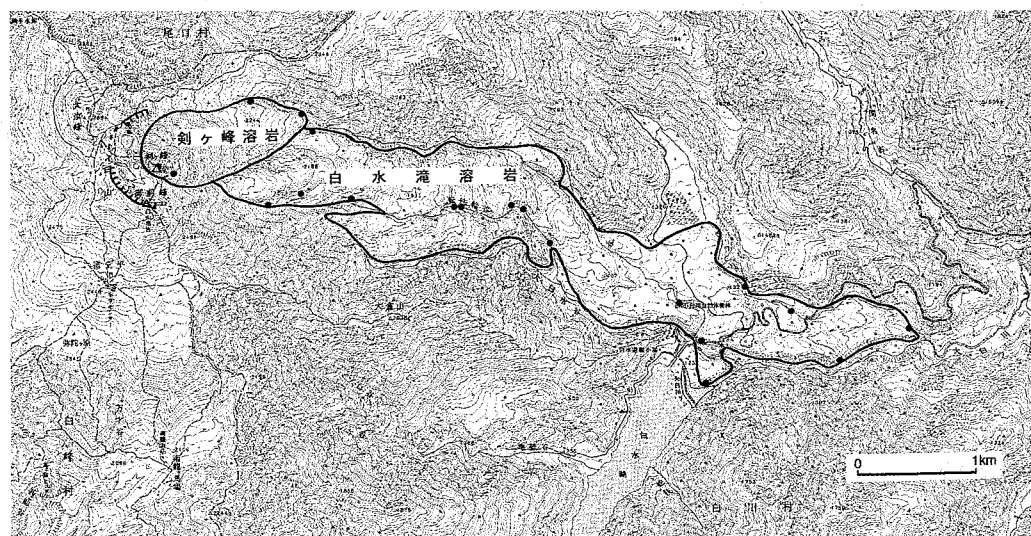


図1 剣ヶ峰溶岩および白水滝溶岩の分布と分析試料の採取地点（●印）．地図は国土地理院発行の1：25000地形図「白山」を使用した．

平成13年10月1日受理

<sup>\*1</sup> 城端町立城端小学校 <sup>\*2</sup> 金沢市役所 <sup>\*3</sup> 北栄電設株式会社

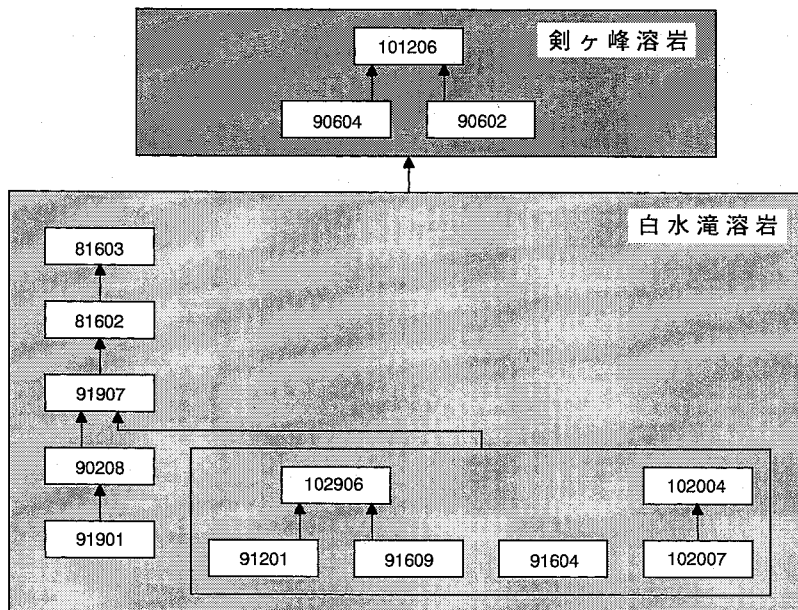


図2 溶岩流層序。数字は試料(露頭)番号を表す。矢印は溶岩どうしの新旧関係を表し、矢印の先のものがより新しい溶岩であることを意味する

南西方向の山麓にも達している。約4400年前に御前峰火山体の東側が崩壊し、山頂部に馬蹄形凹地が形成された。さらに約2000年前には、馬蹄形凹地内で噴火が起こり、白水滝溶岩の流出に引き続いて剣ヶ峰溶岩ドームが出現し、南竜火山灰層が形成された。その後、山頂付近で水蒸気爆発が繰り返され、歴史時代には小規模な火砕流を伴う噴火も起こっている。

#### 溶岩の分布と溶岩流層序

剣ヶ峰および白水滝溶岩の分布を図1に示す。白水滝溶岩は、火山体崩壊によって白山山頂部に形成された馬蹄形凹地内の火口から、谷地形に沿って東麓に流下した(写真1)。溶岩の幅は最大で1km、推定される火口から溶岩の先端までの長さは約7kmである。山麓の標高1180m付近では、1枚の溶岩の厚さが約50mに達する(写真2)。剣ヶ峰(標高2677m)は、白水滝溶岩の噴出に引き続いて馬蹄形凹地内に形成された溶岩ドームである。山体の東側斜面

には溶岩地形が認められるが(写真3)、その南西側は、ドーム形成後に起きた山頂付近での水蒸気爆発によって山体の一部が失われ、急峻な地形を呈している(写真4)。

白水滝溶岩は1枚の溶岩流ではなく、5枚以上の溶岩流から構成されており、それらの間には火砕流堆積物も認められる。また、剣ヶ峰溶岩でも、少なくとも2枚以上の溶岩流が確認できる。そこで、剣ヶ峰溶岩と白水滝溶岩における溶岩流の層序を明らかにするため、野外調査および空中写真による地形判読を行った。その結果をまとめたものが、図2である。

#### 岩石記載

##### 1. 溶岩

表1に、剣ヶ峰および白水滝溶岩の主な溶岩試料のモード組成を示す。モード組成は、ポイントカウンティング法によって、1試料につき0.4mm間隔で2000点測定して求めた。モード分析に際しては、斑晶と微斑晶の境界を0.5mm、

表1 主な溶岩試料のモード組成 (vol. %).

試料	gm		pl	opx	ho	opaq	aug	qz	ol	bt	apa	zir
101206	61.7	ph	21.0	2.1	2.3	tr	tr	1.2	0.0	tr	0.0	0.0
		mph	9.1	1.2	0.1	0.6	0.5	0.0	tr	0.0	tr	tr
90604	58.2	ph	24.2	1.7	1.2	0.1	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		mph	9.8	1.2	0.4	0.5	1.1	tr	tr	0.0	tr	tr
81603	55.8	ph	29.7	2.1	2.4	0.0	0.0	0.4	tr	0.0	0.0	0.0
		mph	6.4	1.1	0.5	0.7	0.6	0.0	0.1	tr	tr	tr
81602	53.5	ph	26.7	3.1	3.7	0.0	0.0	tr	0.0	tr	0.0	0.0
		mph	9.8	1.0	0.2	0.5	1.0	tr	tr	0.0	tr	tr
81601	58.5	ph	25.8	1.4	2.0	tr	0.0	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0
		mph	9.0	0.9	tr	0.3	0.4	tr	0.3	0.0	tr	tr
91907	62.6	ph	22.9	1.5	1.4	0.0	0.0	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0
		mph	9.0	0.5	0.2	0.2	0.4	0.0	0.3	0.0	tr	tr
91901	66.1	ph	15.6	1.6	6.7	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0
		mph	6.1	0.3	tr	0.8	0.8	0.0	0.6	0.0	tr	tr
102901	61.8	ph	20.1	1.1	3.0	tr	tr	0.3	2.7	0.0	0.0	0.0
		mph	6.5	1.1	0.2	0.2	1.9	tr	0.8	0.0	tr	tr
102906	62.6	ph	21.5	1.1	0.5	0.0	tr	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0
		mph	9.5	0.3	0.1	0.3	1.5	tr	1.0	0.0	tr	tr
102004	65.5	ph	15.9	1.1	1.7	tr	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0
		mph	11.6	0.8	0.1	0.3	1.0	tr	1.1	0.0	tr	tr
91609	62.2	ph	22.5	2.5	1.7	0.1	0.0	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0
		mph	7.2	0.7	0.2	0.5	0.7	0.2	0.3	0.0	tr	tr
91604	60.1	ph	23.1	1.1	0.3	0.0	tr	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0
		mph	10.8	0.5	0.2	0.1	2.4	0.0	0.5	0.0	tr	tr

gm=石基, ph=斑晶, mph=微斑晶, pl=斜長石, opx=斜方輝石, ho=ホルンブレンド, opaq=不透明鉱物, aug=オーザイト, qz=石英, ol=かんらん石, bt=黒雲母, apa=燐灰石, zir=ジルコン, tr=微量 (0.1vol.%未満). 酒寄ほか (1997) によるデータ (5 試料) も含む.

微斑晶と石基鉱物の境界を, 0.05mmとした. なお, モード分析を行った試料の採取地点を図1に示した.

試料はすべて斑状組織を呈する安山岩であり, 35~19vol.%の斑晶と, 15~9 vol.%程度の微斑晶をそれぞれ含む. 白水滝溶岩から剣ヶ峰溶岩まで試料全体を通し, 観察される斑晶および微斑晶の鉱物種はほぼ同じである. 斑晶として常に含まれる鉱物は, 斜長石, 斜方輝石, ホルンブレンド, 石英である. これらのほかに, カンラン石, 不透明鉱物, オーザイト, および黒雲母の斑晶が観察される場合もある. 微斑晶を構成するのは, 斜長石, 斜方輝石, ホルン

ブレンド, 不透明鉱物, オーザイト, カンラン石, および微量の燐灰石とジルコンであり, さらに石英が加わる場合もある. このうち, カンラン石に関しては, 斑晶で2.7~0 vol.%, 微斑晶で1.1~0.1vol.%未満と, 試料によって含有量が著しく異なる.

斑晶や微斑晶を構成する各鉱物には, 次のような組織が観察される. 斜長石斑晶には, 外形に平行な汚濁帯を有するものと汚濁帯のない清澄なものが存在し, 同じ試料内で両者を観察することができる. 斜方輝石の周囲には, オーザイトが成長して平行連晶を形成している場合もある. ホルンブレンドは, オパサイト化してい

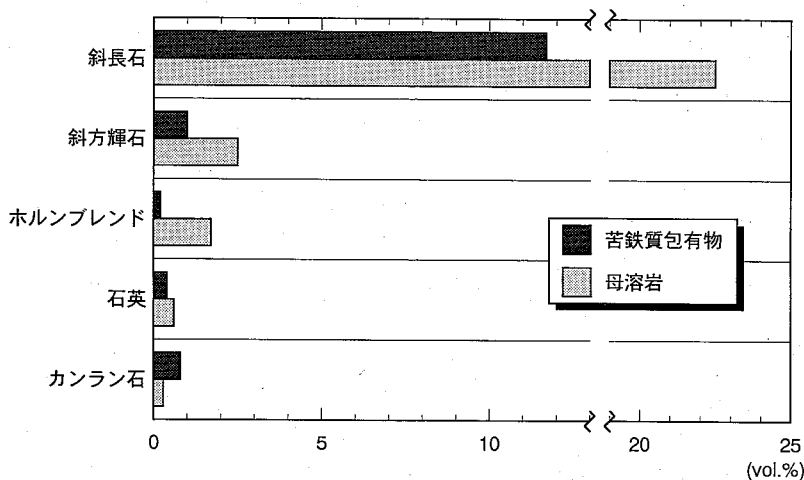


図3 苦鉄質包有物とその母溶岩（白水滝溶岩）における各斑晶量の比較。

るか、主に輝石や不透明鉱物の鉱物粒からなる分解生成物に置き換えられている場合もある。オーザイトは通常、微斑晶として産し、しばしば砂時計構造を呈する。石英はすべて融食形を示し、時にオーザイトからなる反応縁に囲まれている場合もみられる。かんらん石は自形、ときに骸晶状を呈する。また、斜方輝石からなる薄い反応縁に囲まれているものもある。黒雲母は、オパサイト縁を有するか、斜長石や不透明鉱物などからなる鉱物の集合体に囲まれている。

石基は斜長石、斜方輝石、オーザイト、不透明鉱物、シリカ鉱物、燐灰石、ガラスなどから構成され、インターサタル組織を呈する。

## 2. 苦鉄質包有物

大部分の溶岩において、苦鉄質包有物が認められる。これらは、直径数 mm から数十 cm の楕円体やときにレンズ状の形態を呈し(写真5)、急冷縁を有する場合もある(写真6)ことから、より低温の珪長質マグマに取り込まれて急冷固結した苦鉄質マグマの液滴と判断される(たとえば、Bacon, 1986)。構成鉱物は母溶岩の石基鉱物より粗粒で、長柱状または針状の鉱物が網状構造を作るのが特徴である。また、細かな孔隙を多数有することが多い。

剣ヶ峰溶岩と白水滝溶岩とでは、含まれる苦鉄質包有物の構成鉱物組合せに違いがみられる。白水滝溶岩でみられる苦鉄質包有物は、伸長した斜長石や斜方輝石のほかに、単斜輝石、不透明鉱物、カンラン石、およびガラスなどから構成されるものが多い(写真7)。一方、剣ヶ峰溶岩の苦鉄質包有物は、伸長した斜長石や斜方輝石や角閃石、不透明鉱物およびガラス(単斜輝石が加わる場合もある)によって構成される(写真8)。

剣ヶ峰および白水滝溶岩にみられる苦鉄質包有物には、母溶岩と同じ種類の斑晶がしばしば認められる。しかし、その総斑晶量は母溶岩に比べて明らかに少ない。図3では、白水滝溶岩中の苦鉄質包有物とその母溶岩との間で、斑晶の種類ごとに含有量を比較した。この図が示すように、斜長石・斜方輝石・ホルンブレンド・石英の各斑晶はいずれも母溶岩の方により多く含まれるが、カンラン石斑晶だけは逆に苦鉄質包有物に多く含まれる傾向がある。

## 岩石学的性質の時間変化

前述のように、剣ヶ峰および白水滝溶岩の試料に含まれるカンラン石の含有量には、明瞭な多様性が認められる。図4は、溶岩試料に含ま

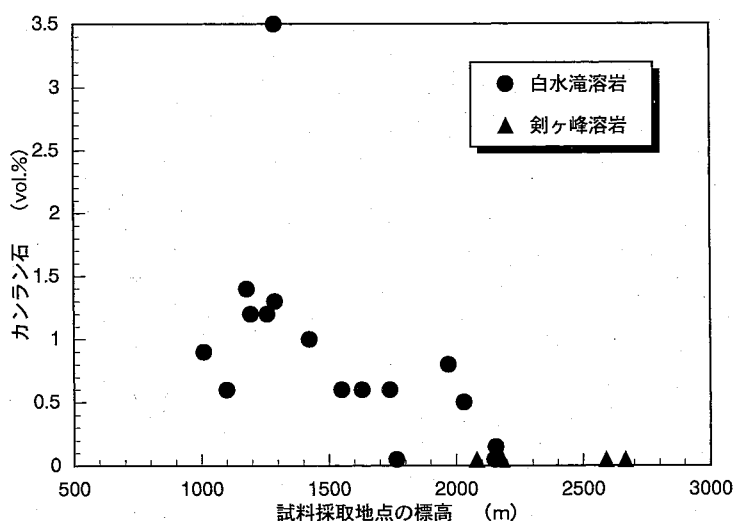


図4 試料採取地点の標高と溶岩試料に含まれるカンラン石（斑晶および微斑晶）含有量の関係。含有量が微量（0.1vol. %未満）の場合は，0.05vol. %として表示した。

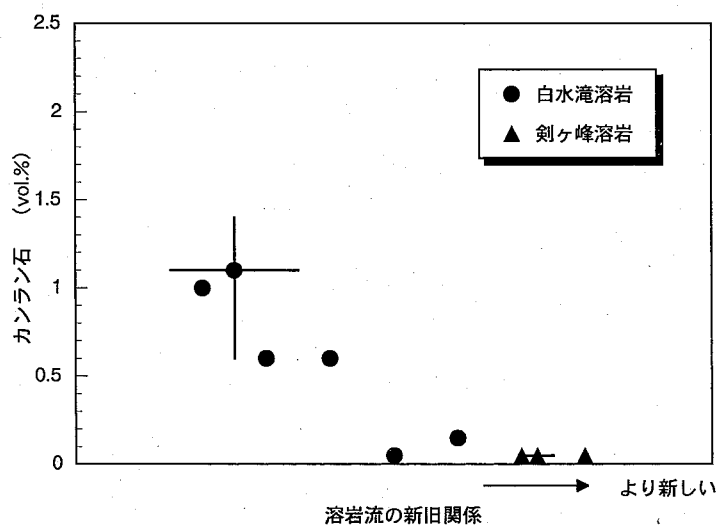


図5 溶岩試料に含まれるカンラン石（斑晶および微斑晶）含有量の時間変化。横軸は溶岩流層序（図2）に基づく新旧関係を表す。相互の新旧関係が厳密に求まらない溶岩に関しては，可能性のある範囲を横棒で示した。また，複数の溶岩を一括して表示した場合には，各溶岩試料から得られたカンラン石含有量の幅を縦棒によって表した。

れるカンラン石の斑晶と微斑晶の総含有量を，試料採取地点の標高に対してプロットした図である。剣ヶ峰溶岩の試料はすべて，0.1vol. %未満のカンラン石含有量を示す。一方，白水滝

溶岩の試料では，3.5vol. %の値をもつ一試料を除くと，1.5vol. %～0.1vol. %未満のカンラン石含有量を示し，カンラン石に比較的富む試料は下流側に，カンラン石に乏しい試料は上流

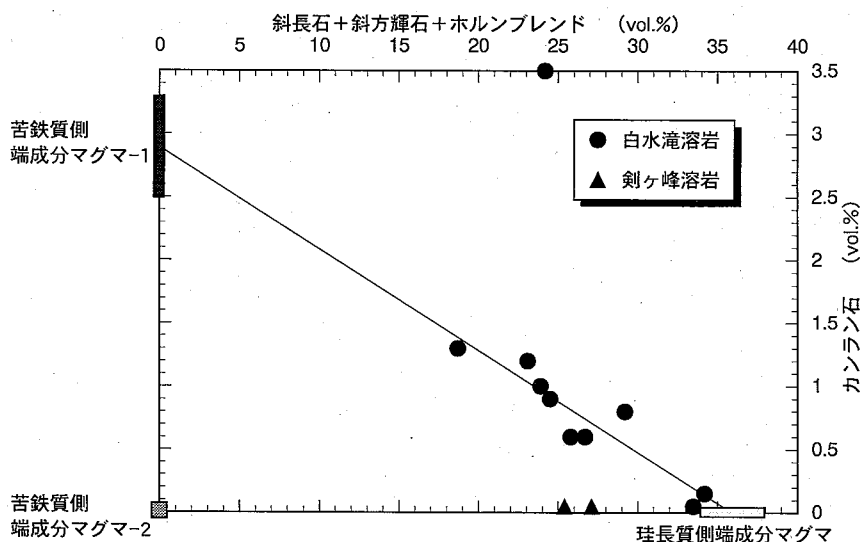


図6 溶岩試料に含まれる斜長石+斜方輝石+ホルンブレンドの総斑晶量とカンラン石（斑晶および微斑晶）の含有量の関係。図中の直線は白水滝溶岩試料（3.5vol.%のカンラン石をもつ1試料を除く）から求めた回帰直線を表す。「苦鉄質側端成分マグマ-1,2」と「珪長質側端成分マグマ」の説明は本文を参照のこと。

側に分布する傾向がみられる。

図5は、溶岩流層序（図2）に基づき、溶岩試料に含まれるカンラン石（斑晶および微斑晶）の量が活動が進むに連れてどのように変化したのかを表した図である。白水滝溶岩では、当初1 vol.%程度含まれていたカンラン石がより後期の溶岩ほど乏しくなり、0.1vol.%以下にまで減少する。さらに、末期に形成された剣ヶ峰溶岩の試料はどれも、カンラン石を0.1vol.%未満しか含まない。つまり、白水滝溶岩の流出から剣ヶ峰溶岩ドームの形成という一連の活動において、溶岩中のカンラン石含有量が時間とともに減少していったことが明らかになった。

#### カンラン石の起源

白水滝溶岩において、斜長石・斜方輝石・ホルンブレンドの各斑晶は、しばしば互いに集合斑晶を形成するが、カンラン石は他種の斑晶や微斑晶鉱物と集合体を作ることが無く、単結晶またはカンラン石どうしの集合斑晶として出現する。このことから、斜長石・斜方輝石・ホル

ンブレンドの斑晶を有したマグマとは異なるマグマからカンラン石が由来した可能性が考えられる。

図6は、白水滝溶岩の試料に含まれるカンラン石の量と、斜長石+斜方輝石+ホルンブレンドの総斑晶量の関係を表した図である。カンラン石の含有量と斜長石+斜方輝石+ホルンブレンドの総斑晶量は互いに負の相関を示し、この図において白水滝溶岩の多くの試料は一つの直線沿いに分布すると見なすことができる。その直線は、約35vol.%の斜長石+斜方輝石+ホルンブレンドを含む珪長質マグマ（図6の珪長質側端成分マグマ）と3 vol.%程度のカンラン石を含む苦鉄質マグマ（同図の苦鉄質側端成分マグマ-1）を各々端成分とする混合線とみなすことができ、これら2種類の端成分マグマの混合比の違いによって白水滝溶岩における岩石学的多様性がもたらされたと解釈することができる。

白水滝溶岩がマグマ混合によって生成されたとする解釈は、苦鉄質包有物の存在からも支持

される。岩石記載で述べたように、珪長質マグマに取り込まれて急冷固結した苦鉄質マグマの液滴と解釈できる苦鉄質包有物が、白水滝溶岩ではしばしば観察できる。ただし、ここでみられる苦鉄質包有物は、周囲の母溶岩と同様の斑晶組み合わせをもつことから、苦鉄質側の端成分マグマそのものではなく、母溶岩よりも苦鉄質側端成分マグマに近い性質をもつ一種の混合マグマと考えられる。さらに、苦鉄質包有物は母岩と比べ、斜長石・斜方輝石・ホルンブレンド・石英などの各斑晶に乏しく、逆にカンラン石斑晶には富む性質を示す（図3）。この事実もカンラン石が苦鉄質側の端成分マグマ起源であり、他の斑晶は珪長質側の端成分マグマ起源であるとする解釈と調和的である。

以上のことから、白水滝溶岩は、斜長石・斜方輝石・ホルンブレンド・石英などを含む珪長質マグマのマグマ溜りにカンラン石を含む苦鉄質マグマが貫入し、それらが混合することによって形成されたと考えられる。また、活動が進むに連れて、混合する苦鉄質マグマの割合が減少したため、溶岩に含まれるカンラン石の含有量も時間とともに減少していったと推定できる。

#### 剣ヶ峰溶岩と白水滝溶岩の関係

図5でみられたカンラン石含有量の時間変化は、白水滝溶岩から剣ヶ峰溶岩にかけて連続した岩石学的多様性を示しているようにみえる。しかしながら、図6に剣ヶ峰溶岩の試料をプロットすると、白水滝溶岩の試料が形成するマグマ混合線とは明らかに異なる領域に落ちる。このことは、白水滝溶岩から剣ヶ峰溶岩にかけてマグマ供給システムが明瞭に変化した可能性を示唆している。また、剣ヶ峰溶岩と白水滝溶岩との岩石学的な相違点として、各溶岩に含まれる苦鉄質包有物の性質の違い（白水滝溶岩中の苦鉄質包有物にはカンラン石が含まれるのに対し、剣ヶ峰溶岩中の包有物にはカンラン石の代わりに角閃石が存在する）も認められる。

そこで、剣ヶ峰溶岩の成因として次のような解釈が考えられる。剣ヶ峰溶岩の試料は、カンラン石を除けば、白水滝溶岩の試料と同じ斑晶組合せを有する。このことから、白水滝溶岩をもたらしした珪長質側端成分マグマと同様の性質をもつ珪長質マグマ溜りが、剣ヶ峰溶岩ドーム形成時にも火山体直下に存在し、剣ヶ峰溶岩の生成に関与したと推定できる。一方、剣ヶ峰溶岩の形成に関わった苦鉄質側の端成分マグマは、白水滝溶岩の場合とは異なり、カンラン石を含まない無斑晶質なマグマ（図6の苦鉄質側端成分マグマ-2）であったと解釈できる。このことは、剣ヶ峰溶岩においてしばしば観察される苦鉄質包有物が、白水滝溶岩中の苦鉄質包有物とは異なる構成鉱物組合せを示し、かつカンラン石斑晶を一切含まないことから示唆される。

以上のように、白水滝溶岩の噴出と剣ヶ峰溶岩ドームの形成の間で、苦鉄質側端成分マグマの岩石学的性質は著しく変化したと解釈できる。すなわち、一連の噴火活動の産物とされる両溶岩を区分することは、岩石学的には意味のあることといえよう。

#### 引用文献

- Bacon, C.R., 1986, Magmatic inclusions in silicic and intermediate volcanic rocks, *J. Geophys. Res.*, 91, 6091-6112.
- 遠藤邦彦, 1985, 白山火山地域の火山灰と泥炭層の形成過程. 白山高山帯自然史調査報告書, 石川県白山自然保護センター研究報告, 11-30.
- 長岡正利・清水 智・山崎正男, 1985, 白山火山の地質と形成史. 石川県白山自然保護センター研究報告, 12, 9-24.
- 守屋以智雄, 1984, 白山火山頂部の火口群. 日本火山学会 (編), 空中写真による日本の火山地形, 東京大学出版会, 124-125.
- 守屋以智雄・東野外志男, 1992, 白山一噴火と浸食. 白山総合学術書編集委員会 (編), 白山一自然と文化一, 北國新聞社, 42-70.
- 守屋以智雄, 2000, 白山火山. 中部・近畿・中国

- の火山, 高橋正樹・小林哲夫編, 築地書館, 65-82.
- 酒寄淳史・長谷川雅世・小林宏光, 1997, 新白山火山噴出物における岩石記載学的性質の時間変化, 金沢大学教育学部紀要(自然科学編), no.46, 37-43.
- 高柳一男・守屋以智雄, 1991, 白山火山の火山灰層. 白山火山噴火活動調査報告書, 石川県白山自然保護センター研究報告, 75-92.
- Yamasaki, M., Nakanishi, N., and Kaseno, Y., 1964, Nuee ardente deposit of Hakusan volcano, Sci.Rept. Kanazawa Univ., 9, 189-201.
- 山崎正男・中西信弘・松原幹夫, 1968, 白山火山の形成史. 火山, 13, 32-43.
- 山崎正男・佐藤博明・守屋以智雄・清水 智, 1985, 白山火山山頂付近の火口・馬蹄形凹地・溶岩流および東麓の岩屑流堆積物. 火山, 30, 145-146.
- 山崎正男・富樫茂子・守屋以智雄・清水 智, 1987, 白山火山大白川岩屑流堆積物中の木片の<sup>14</sup>C年代. 火山, 32, 123-124.



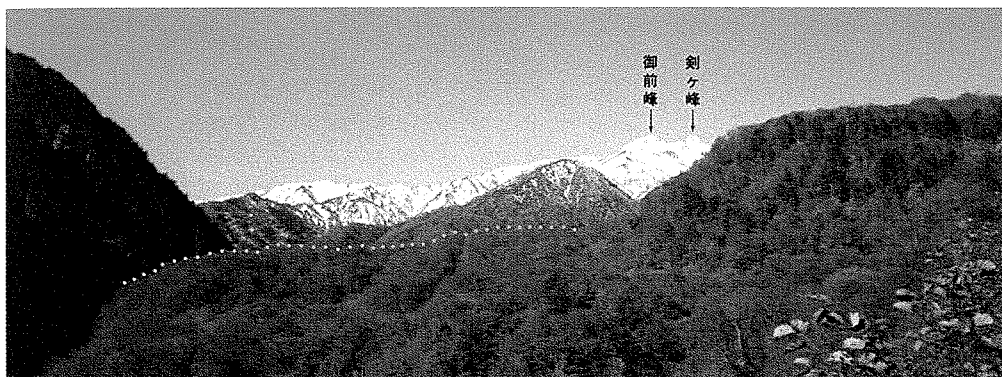


写真1 谷を埋めた白水滝溶岩がつくる平坦面（緑色の点線部分）。左側の斜面は基盤岩類，右側の台地状の地形は古白山火山噴出物（約10万年前）からなる。後方には，雪をかぶった剣ヶ峰（標高2677m）と御前峰（標高2702m）がみえる。

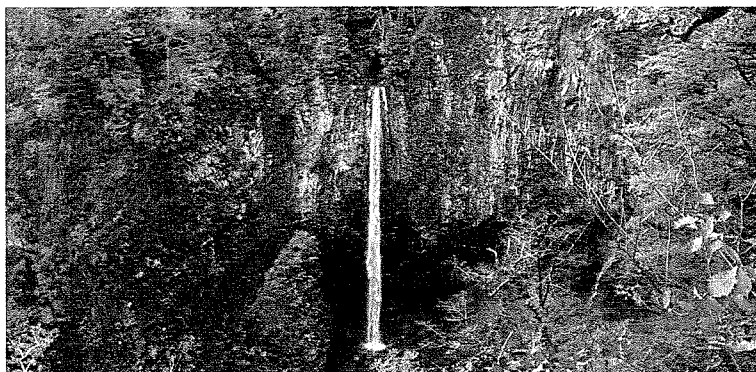


写真2 白水滝溶岩がつくる白水滝（標高約1180m）。節理が発達した厚さ約50mの溶岩が瀑布を形成している。

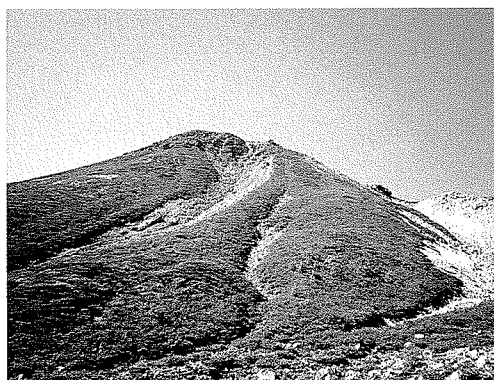


写真3 北東側からみた剣ヶ峰溶岩ドーム。山体の斜面には溶岩地形も認められる。

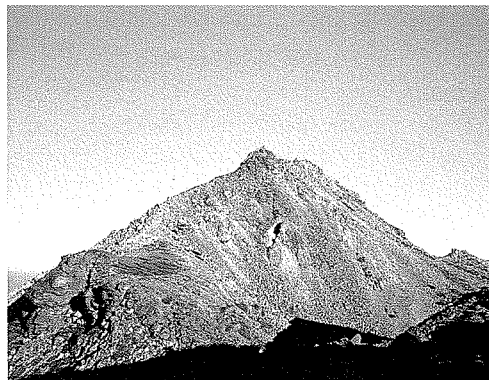


写真4 西側からみた剣ヶ峰溶岩ドーム。山頂付近での度重なる水蒸気爆発によって溶岩ドームの一部が消失し，急峻な地形を呈している。



写真5 レンズ状の苦鉄質包有物。鉛筆の長さは約12cm.

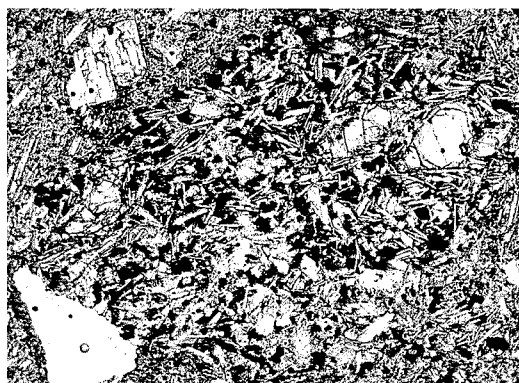


写真6 急冷縁をもつ苦鉄質包有物の偏光顕微鏡写真(下方ポーラーのみ)。茶色の火山ガラスが包有物の外縁部に沿って分布し、急冷縁を形成している。写真の横幅は約4mm.

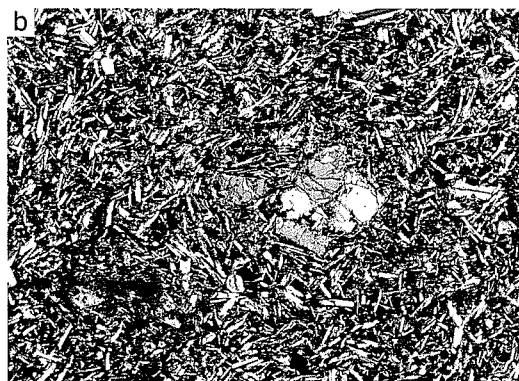
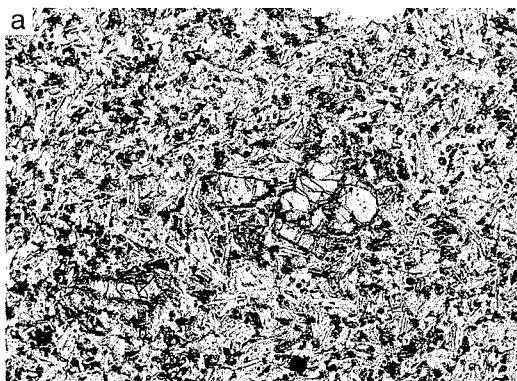


写真7 白水滝溶岩にみられる苦鉄質包有物の偏光顕微鏡写真(a: 下方ポーラーのみ, b: 直交ポーラー)。伸長した斜長石や斜方輝石、単斜輝石、不透明鉱物、カンラン石、およびガラスなどから構成される。写真中央部にみられる微斑晶はカンラン石。写真の横幅は約4mm.

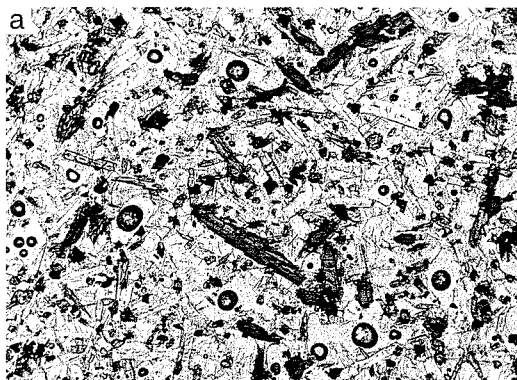


写真8 剣ヶ峰溶岩にみられる苦鉄質包有物の偏光顕微鏡写真(a: 下方ポーラーのみ, b: 直交ポーラー)。伸長した斜長石、斜方輝石、および角閃石のほかに、不透明鉱物やガラスなどから構成される。写真の横幅は約4mm.